

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2013

Martin Sikora

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

## **Absolvování individuální odborné praxe**

Individual Professional Practice in the  
Company

# Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Sikora**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Absolvování individuální odborné praxe**  
**Individual Professional Practice in the Company**

## Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: Patrem Pipe Technologies s.r.o.
2. Struktura závěrečné zprávy:
  - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta
  - b. Seznam úkolů zadáných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti
  - c. Zvolený postup řešení zadáných úkolů
  - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe
  - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe
  - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení

## Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vede odbornou praxi studenta.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

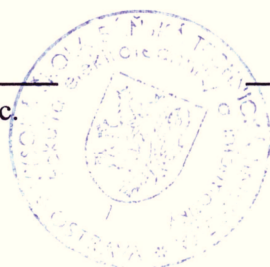
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Marek Cieslar

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

7.5.2023

Martin Sikora v.r.:



## Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Marku Cieslarovi, vedoucímu mé bakalářské praxe, za odborné vedení a věcné připomínky při vykonávání svěřených úkolů a majiteli firmy panu Petru Mertovi za všeobecnou vstřícnost. Na tomto místě také děkuji panu Ing. Petru Bernátovi, Ph.D. za věcné připomínky k textu této práce. Také bych chtěl poděkovat všem pedagogům Vysoké školy báňské, kteří mi dali teoretické znalosti potřebné pro mé uplatnění v rámci této praxe i v dalším životě.

## Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, ods. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB- TU Ostrava.

V Třanovicích dne

2.5.2013

Razítko firmy a podpis:



Třanovice, č.p. 282, PSČ: 739 53  
DIČ: CZ25900315

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce prezentuje průběh mé praxe vykonané na úseku údržby ve firmě Patrem Pipe Technologies s.r.o.. V průběhu praxe jsem řešil mnoho rozdílných problémů, především však problematiku rozběhu pohonů. V rámci praxe jsem vybíral softstartér pro pohon 160 kW, dále pak stykače, jističe a nadproudová relé pro různé typy i výkony pohonů. V rámci praxe jsem poznal problematiku ostrovních fotovoltaických systémů při zpracovávání podkladů pro návrh jednoho z takovýchto zařízení.

## **Klíčová slova**

Odborná praxe, spouštění asynchronního motoru, softstartér, zapojení uvnitř trojúhelníku, spínání třídy AC3, přepínání hvězda- trojúhelník, stykač, fotovoltaický panel, ostrovní fotovoltaický systém, MPPT měnič, třída izolace

## **Abstract**

This thesis presents the course of my practice done in the maintenance of company Patrem Pipe Technologies s.r.o.. During practice, I deal with many different problems, but particularly the issue of start-up drives. In practice, I chose the starter to drive 160 kW motor, as well as contactors, circuit breakers and overload relays for different types and drive performance. In practice, I became familiar with the off-grid solar systems during the preparation of documents for the application of one of these devices.

## **Key words**

Professional practice, start-up asynchronous motor, softstarter, wiring inside the delta circuit, switching class AC3, star-delta starting motor, solar panels, solar off- grid system, MPPT converter, insulation class

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Ozn.	Jednotka	Popis
$\omega$	$[\text{rad.s}^{-1}]$	Úhlová rychlost
$\rho$	$[\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$	Měrný odpor
$\eta_{\text{mppt}}$	$[-]$	Účinnost MPPT měniče
$\eta_{\text{aku}}$	$[-]$	Účinnost nabíjecího cyklu akumulátorů
$\Theta_{\text{dov}}$	$[^{\circ}\text{C}]$	Maximální dovolená teplota
$\Delta\Theta_{\text{dov}}$	$[\text{K}]$	Maximální dovolené oteplení
$\cos\varphi_{\text{D}}$	$[\text{A}]$	Účíník při chodu ve hvězdě
$\cos\varphi_{\text{D}}$	$[\text{A}]$	Účíník při chodu v trojúhelníku
C	$[\text{Ah}]$	Kapacita baterie
CNC		Počítačem řízený (např. soustruh)
DOD	$[-]$	Depth of discharge (hloubka vybití baterie)
E	$[\text{J}]$	Energie obecně
$E_{\text{den}}$	$[\text{kWh}]$	Denní spotřeba
$E_{\text{noc}}$	$[\text{kWh}]$	Noční spotřeba
$E_{\text{výr}}$	$[\text{kWh/kWp}]$	Minimum měrné denní výroby
FVE		Fotovoltaická elektrárna
FVP		Fotovoltaický panel
I	$[\text{A}]$	Proud obecně



$I_f$	[A]	Fázový proud
$I_{jz}$	[A]	Vypínací proud zkratové spouště jističe
$I_1$	[A]	Proud primárního vinutí
$I_k$	[A]	Zkratový proud
$J$	[kgm <sup>2</sup> ]	Moment setrvačnosti
$k$	[-]	Minimální požadovaná energetická nezávislost
$l$	[m]	Délka vedení
$n$	[-]	Počet dnů bez výroby, které je nutno překlenout
PWM		Pulsně- šířková modulace
PLC		Programovatelný automat
PC		Osobní počítač
$P_Y$	[W]	Výkon při zapojení do hvězdy
$P_D$	[W]	Výkon při zapojení do trojúhelníka
$P_S$	[W]	Výkon softstartéru
$P_M$	[W]	Výkon motoru
$P_i$	[kWp]	Instalovaný výkon FVE
$R_K$	[Ω]	Odpor kabelu
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez žíly kabelu
$S_n$	[VA]	Jmenovitý zdánlivý výkon
$t_{on}$	[h]	Doba chodu

$U_n$	[V]	Jmenovité napětí
$U_{2N}$	[V]	Jmenovité napětí sekundárního vinutí
$U_{2Nf}$	[V]	Jmenovité fázové napětí sekundárního vinutí
$U_Y$	[V]	Napětí při zapojení do hvězdy
$U_D$	[V]	Napětí při zapojení do trojúhelníka
$u_k$	[-]	Napětí nakrátko
$Z$	[ $\Omega$ ]	Impedance obecně
$Z_T$	[ $\Omega$ ]	Impedance transformátoru
$Z_K$	[ $\Omega$ ]	Impedance kabelu

## Obsah

1.	Úvod.....	12
2.	Zaměření firmy a pracovní zařazení studenta.....	13
3.	Návrh spouštění pro motory 160 kW.....	14
3.1.	Popis problému.....	14
3.2.	Teoretický rozbor.....	14
a)	Rozběh s přepnutím hvězda- trojúhelník.....	15
b)	Spouštění pomocí softstartéru.....	15
c)	Chod s frekvenčním měničem.....	17
3.3.	Postup řešení a výsledky.....	17
4.	Návrh stykačů pro motory 160 kW.....	20
4.1.	Popis problému.....	20
4.2.	Teoretický rozbor.....	20
4.3.	Postup řešení a výsledky.....	21
5.	Hlavní jističe pro linku.....	22
5.1.	Popis problému.....	22
5.2.	Teoretický rozbor.....	22
a)	Nadproudová spoušť jističe.....	22
b)	Zkratová spoušť jističe.....	22
c)	Vypínací schopnost jističe.....	22
5.3.	Postup řešení a výsledky.....	23
a)	Přívod rozvaděče R1.....	24
b)	Přívod rozvaděče R3.....	24
6.	Výběr stykačů a nadproudových relé pro technologii linky.....	27
6.1.	Popis problému.....	27
6.2.	Teoretický rozbor.....	27
6.3.	Postup řešení a výsledky.....	27
7.	Rozběh motorů 15 kW.....	30
7.1.	Popis problému.....	30
7.2.	Teoretický rozbor.....	30
7.3.	Postup řešení a výsledky.....	31
8.	Návrh ostrovní solární elektrárny.....	34
8.1.	Popis problému.....	34
8.2.	Teoretický rozbor.....	34
a)	Stanovení denní a noční spotřeby.....	34
b)	Stanovení předpokládaného průběhu výroby v roce.....	34
c)	Volba minimální energetické nezávislosti.....	35
d)	Stanovení instalovaného výkonu.....	35
e)	Stanovení kapacity akumulace.....	36
8.3.	Postup řešení a výsledky.....	37

a)	Stanovení denní a noční spotřeby.....	37
b)	Stanovení předpokládaného průběhu výroby v roce.....	37
c)	Volba minimální energetické nezávislosti.....	38
d)	Stanovení instalovaného výkonu.....	38
e)	Stanovení kapacity akumulace.....	38
9.	Příprava prodeje nadbytečných motorů.....	40
9.1.	Popis problému.....	40
9.2.	Postup řešení a výsledky.....	40
10.	Oprava poškozených asynchronních motorů.....	42
10.1.	Popis problému.....	42
10.2.	Teoretický rozbor.....	42
10.3.	Postup řešení a výsledky.....	43
11.	Ostatní.....	44
12.	Přehled časové náročnosti jednotlivých úkolů.....	45
13.	Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe.....	46
14.	Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe.....	47
15.	Shrnutí dosažených výsledků v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení.....	48
16.	Závěr.....	49
	Seznam obrázků.....	50
	Seznam tabulek.....	51
	Rejstřík.....	52
	Použitá literatura.....	54

## 1. Úvod

Hlavním úkolem jakékoliv odborné praxe obecně je připravit studenta na výkon svého povolání v reálném životě. Začlenění do pracovního procesu na pozici, která odpovídá kvalifikaci je velmi dobrý způsob, jak si ověřit připravenost na výkon reálného povolání.

Tato bakalářská práce vznikla na základě vykonání bakalářské praxe ve firmě Patrem Pipe Technologies s.r.o. jakožto prezentace průběhu práce. V následujících kapitolách budete seznámeni s několika vybranými záležitostmi, které jsem v rámci této praxe řešil. V průběhu praxe mi byly zadány úkoly rozmanitých směrů i různých náročností. V rámci řešení těchto úkolů jsem se snažil použít co nejvíce poznatků a teoretických vědomostí získaných ve škole i mimo ni a aplikovat je v praxi. Tato bakalářská práce se zabývá především otázkou pohonů a jejich návrhu a realizace v technické praxi v podmínkách malého podniku a dále pak otázkou ostrovních fotovoltaických systémů.

## **2. Zaměření firmy a pracovní zařazení studenta**

Firma Patrem Pipe Technologies s.r.o. je výrobní podnik se zaměřením na výrobky z lisovaných plastů a výrobky z recyklovaného gumového granulátu. Vy rábí se zde především plastové protektory na předzavítované bezešvé trubky (např. pro vrtné soupravy), a lisované gumové dlaždice. Nově je zprovozněna drtící linka pro výrobu gumového granulátu, díky které firma zajišťuje kompletní recyklaci ojetých pneumatik na až na finální produkt.

Moje pracovní zařazení bylo na pozici elektrikáře coby pracovníka údržby. V rámci tohoto zařazení jsem měl na starost vedle občasných oprav a údržby především instalace nových zařízení a návrhy technického řešení, které jsem předkládal vedoucímu ke schválení.

### 3. Návrh spouštění pro motory 160 kW

#### 3.1. Popis problému

V rámci linky na drcení gumy byly instalovány dva drtiče s hlavními pohony o výkonu 2x 160kW. Jde o asynchronní motory Siemens dodané spolu s technologií drtiče a byly navrženy a dimenzovány výrobcem drtičů (firmy Pallman, Německo). Pohon prvního drtiče (drtič Tiger) při rozběhu roztáčí přes převodovku válcový rotor s noži vážícím cca 2,5t při průměru přibližně 500 mm na provozní otáčky  $90 \text{ min}^{-1}$ . Pohon druhého drtiče (drtič Panther) roztáčí přes řemenový převod rotor srovnatelný s rotorem prvního drtiče na provozní otáčky  $400 \text{ min}^{-1}$ .



*Obr. 1 Drtič Tiger*

#### 3.2. Teoretický rozbor

Vzhledem k velkému momentu setrvačnosti rotoru drtiče se dá předpokládat relativně dlouhá doba

rozběhu stroje. Pokud doba od spuštění po okamžik, kdy proud podkročí jmenovitou hodnotu přesáhne 10s bude se jednat o těžký rozběh. Z hlediska zákona zachování energie je potřeba při rozběhu dodat rotoru drtiče energii odpovídající jeho momentu setrvačnosti a pracovním otáčkám, tedy:

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

U asynchronních motorů může rozběhový proud při přímém připojení na síť až desetinásobně překročit jmenovitou hodnotu proudu motoru, proto je nutné zvolit vhodnou metodu, jak tuto proudovou špičku omezit. Čím však bude menší proud motoru a tedy i jeho moment, tím bude potřeba delší rozběh pro předání daného množství energie. Je tedy potřeba najít optimální řešení tak, aby proud motoru nezpůsobil nadměrné zatížení sítě, ale aby se stroj rozběhl co nejdřív.

Pro zmenšení rozběhového proudu se nabízí následující varianty řešení:

a) Rozběh s přepnutím hvězda- trojúhelník

Pokud motor dovoluje provozovat motor na příslušné síti v zapojení do trojúhelníka, je možno motor rozbíhat sníženým napětím a to při zapojení do hvězdy, kdy je na cívce namísto sdruženého napětí napětí fázové a proud cívkou klesne v poměru snížení napětí.

Za předpokladu  $\cos\varphi_D = \cos\varphi_Y$  pro jednu cívku motoru platí:

$$U_Y = \frac{U_D}{\sqrt{3}}$$

$$P_Y = \frac{U_Y^2}{Z} \cdot \cos\varphi_Y = \frac{U_D^2}{3 \cdot Z} \cos\varphi_D = \frac{1}{3} \cdot P_D$$

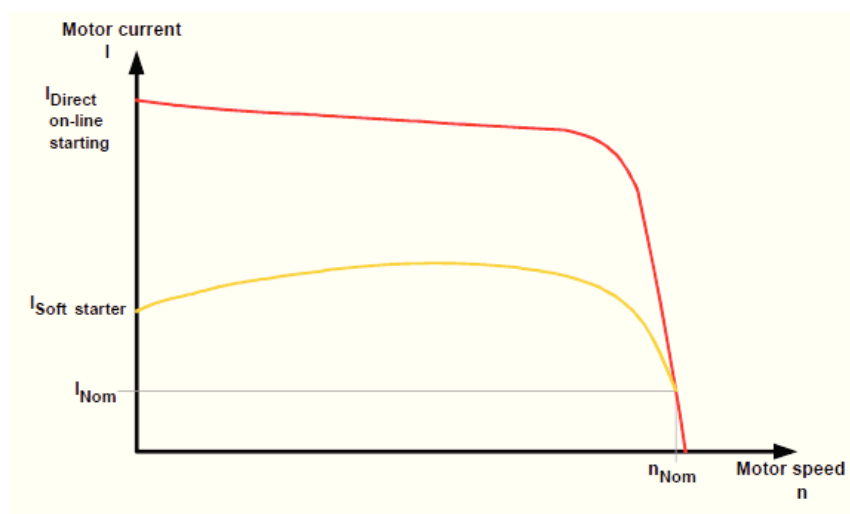
Při připojení motoru na síť v zapojení do hvězdy tedy pracuje při výkonu sníženém na třetinu, čemuž odpovídá i proud snížený rovněž na třetinu hodnoty pro trojúhelník.

b) Rozběh pomocí softstartéru

Softstartér je polovodičový tyristorový měnič, který pomocí PWM modulace snižuje napájecí napětí a tím omezuje rozběhový proud podle potřeby. Většinu moderních softstartérů lze nastavit na rozběh



pomocí rampy napětí, rampy proudu, nebo někdy i pomocí kontroly výkonu motoru při rozběhu.



Obr. 2 Průběh proudu při přímém připojení a při použití softstartéru [1]

Softstartér na rozdíl od frekvenčního měniče nemění frekvenci ale pouze napětí napájení. Po úspěšném rozběhu motoru softstartér automaticky sepne zabudovaný stykač a tím vyřadí tyristory z obvodu a tím zabraňuje jejich zahřívání trvalým proudem při chodu. Při vypínání převzme funkci proudovodné dráhy opět tyristory, stykač odpadne bez proudového zatížení a proud je vypnut polovodiči bez mechanického opalu kontaktů nebo jiného opotřebení mechanických částí.

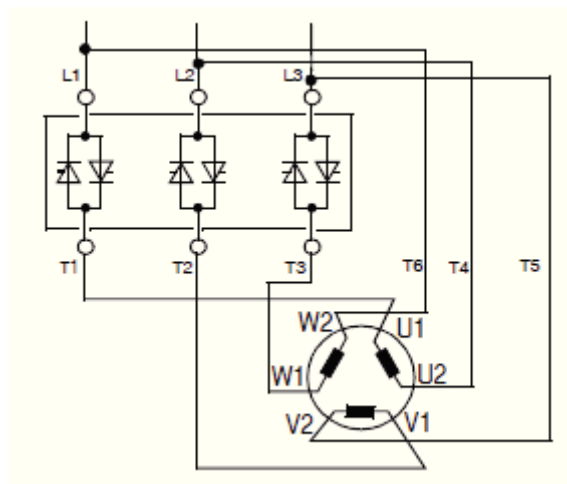
Softstartér zároveň zabezpečuje všechny funkce ochrany motoru, které jsou většinou v reléovém provedení. Je tedy možno je použít jako vstupy PLC nebo pro blokování některých funkcí pomocí kontaktní logiky.

Zapojení softstartéru je možno dvěma způsoby a to buďto na přívodu nebo tzv. uvnitř trojúhelníku. Při spouštění uvnitř trojúhelníku jsou tyristory zatěžovány pouze proudem cívek vinutí, nikoli proudem fází přívodu:

$$I = \frac{I_f}{\sqrt{3}}$$

Díky tomu je možno použít softstartér daného výkonu  $P_S$  pro spouštění motoru o výkonu  $P_M$ :

$$P_M = \sqrt{3} \cdot P_S$$



Obr. 3 Zapojení pro rozběh uvnitř trojúhelníku [1]

Proudovou ochranu motoru je však potřeba nastavit na hodnotu maximálního dovoleného proudu cívek motoru, což odpovídá šítkové hodnotě proudu pro zapojení do hvězdy.

#### c) Chod s frekvenčním měničem

Frekvenční měnič rozbíhá motor pomocí snížení indukovaného napětí v obvodu rotoru pomocí snížení frekvence napájecího napětí.

Při chodu s frekvenčním měničem zůstává měnič v plném provozu i po rozběhnutí motoru a po celou dobu chodu je motor napájen a řízen z měniče.

### 3.3. Postup řešení a výsledky

Parametry motoru:

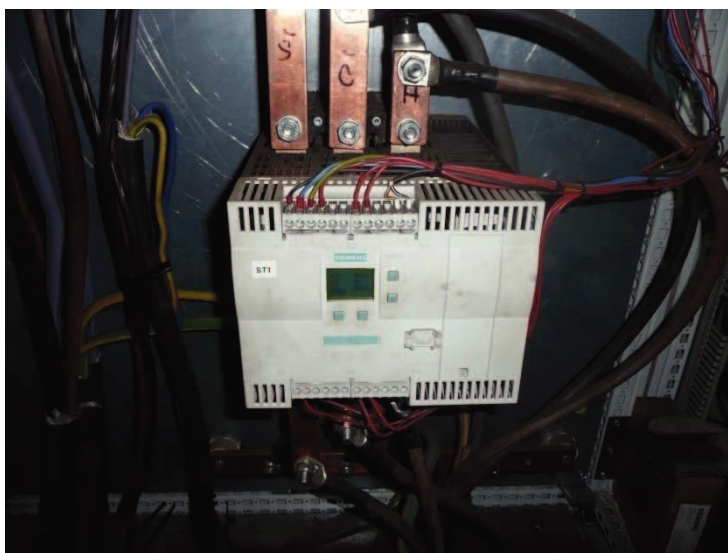
Typ 1LG6 316	160 kW	1488 min <sup>-1</sup>
400/690V	280/165A	izol. F

Rozvod podniku je proveden z trafostanice výkonu 1 MVA několika vývody, z nichž je ve stávajícím stavu za běžného provozu podniku odebírán soudobý výkon cca 500- 600 kVA. Jsou zde napájeny všechny technologie v podniku a administrativní část budovy.

Pro spouštění takto výkonného motoru v podmínkách rozvodu v podniku by byl rozběh stroje hvězda-trojúhelník nadměrnou zátěží a hrozilo by riziko působení ochranných transformátorů a tím výpadků napájení nebo podpětí, což by ohrozilo ostatní výrobu a elektroniku v kancelářích. Použití frekvenčního měniče by bylo nevhodné kvůli velkým rázům na pohon a také kvůli vysoké ceně. Proto byla zvolena cesta použití softstartéru pro rozběh motorů.

Prakticky jediným dostupným výrobcem softstartérů v těchto výkonových kategoriích je firma Siemens, která navíc nabízí možnost spouštění motoru uvnitř trojúhelníku. Toto zapojení umožňuje spouštět startérem nižšího jmenovitého výkonu motory mnohem vyššího výkonu. Fázový proud softstartérem je při takovémto zapojení  $\sqrt{3}$ - krát menší, než je fázový proud na přívodu. Jednotlivé tyristory startéru (později kontakty jeho stykače) jsou tak zapojeny v sérii s vinutími v trojúhelníku. Protože motor má parametry Y/D- 690/400 V, bylo možné toto zapojení na tento motor použít.

Z nabídky firmy byl vybrán typ sirius 3RW4443-6BC44 verze s odděleným napájením ovládací části protože výkonové napájení je spínané stykačem. Motor je tedy připojen ne jedním ale dvěma kabely průřezu CGSG 4x95 mm<sup>2</sup> do rozvaděče. K softstartéru jsou připojeny i termistory ve vinutí stroje pro vyhodnocení oteplení vinutí a pro ochranu proti přehřátí.



*Obr. 4 Namontovaný softstartér Siemens*

Každému softstartéru jsou v souladu s požadavky na instalaci zařízení v manuálu na přívodu předřazeny pojistky 315gG kvůli ochraně elektroniky před účinky případných zkratových proudů. Pojistky díky své omezovací schopnosti vypnou na rozdíl od jističe obvod ještě před dosažením maximální možné hodnoty zkratového proudu a tím chrání výkonovou elektroniku před poškozením nebo destrukcí vlivem zkratových proudů.

## 4. Návrh stykačů pro motory 160 kW

### 4.1. Popis problému

Stykače pro bezpečné odpojení od sítě pro nouzové zastavení kategorie 0 dvou hlavních pohonných jednotek drtičů „Tiger“ a „Panther“, každý po 160 kW. Stykače jsou primárně určené ke spínání a vypínání bez proudového zatížení, protože výkonové spínání bude provádět softstartér. V případě drtiče „Tiger“ musí být zajištěna reverzace chodu požadovaná výrobcem kvůli rovnoměrnosti opotřebení nožů, kterou nelze zajistit jinak, než použitím dvou stykačů v reverzačním zapojení.

### 4.2. Teoretický rozbor

Pro spínací přístroje nízkého napětí definuje norma ČSN EN 60947 kategorie spínání pro různé zátěže:

Kategorie spínání	Typické použití pro hlavní obvody
AC- 1	Neinduktivní nebo mírně induktivní zátěž
AC- 2	Kroužkové motory, spouštění, vypínání motorů v chodu
AC- 3	Motory s kotvou nakrátko, spouštění, vypínání motorů v chodu
AC- 4	Motory s kotvou nakrátko, spouštění, reverzace, krátkodobý chod
AC- 5a	Spínání elektrických výbojek
AC- 5b	Spínání elektrických žárovek
AC- 6a	Spínání transformátorů
AC- 6b	Spínání kondenzátorů
AC- 7a	Nepatrně induktivní zátěže v domácnostech a podobné použití
AC- 7b	Motorové zátěže v domácnostech
DC- 1	Neinduktivní nebo mírně induktivní zátěže, odporové pece
DC- 2	Derivační motory, spouštění, reverzace, krátkodobý chod, dynamické brzdění
DC- 3	Sériové motory, spouštění, reverzace, krátkodobý chod, dynamické brzdění

Tab. 1 Kategorie spínání zátěží [2]

Pro přímý rozběh se dimenzují stykače pro kategorii spínání AC- 3. Při rozběhu motoru však bude mít proud průběh podle *Obr. 2 Průběh proudu při přímém připojení a při použití softstartéru [1]* Maximum proudu bude nastaveno na přibližně trojnásobek jmenovité hodnoty. Trvalý oteplovací proud stykače bude odpovídat maximálně štítkovému proudu motoru.

Dimenzovat stykač podle kategorie AC- 3 je zbytečné, protože rozběhový proud nebude tak velký, na jaký jsou dimenzovány stykače pro spínání v AC- 3. Stykač tento proud sice nebude spínat, ale musí být zaručeno, aby nedošlo ke svaření kontaktů stykače.

#### 4.3. Postup řešení a výsledky

Stykače jsou v jednom případě určeny pouze k bezpečnému odpojení stroje od sítě a uvedení do beznapětového stavu a v druhém případě navíc k reverzaci chodu motoru. Výkonové zpínání a vypínání bude provádět softstartér. Při rozběhu motoru softstartérem dojde k překročení jmenovitého proudu po přechodnou dobu na maximálně trojnásobek (podle nastavení softstartu).

Při jmenovitém proudu motoru 280 A byl vybrán stykač výrobce General Electric typ CK85BA311M. Tento typ vyhovuje našim požadavkům nejen co se týče zatížitelnosti hlavních kontaktů, ale i co se týče ovládání (cívka na střídavé síťové napětí 230V)



*Obr. 5 Stykač GE typ CK85BA311M [3]*

Parametry stykače:

Maximální oteplovací proud: 325A

Maximální spínaný výkon v AC- 3: 125 kW

Životnost při AC- 3:  $1,7 \times 10^6$  spínacích cyklů

Při nákupu materiálu byly zakoupeny a následně použity jiné stykače, a to Schrack LSDE305S s prakticky shodnými parametry. Tyto stykače byly instalovány tři. Jeden pouze pro bezpečné odpojení motoru od sítě. Další dva slouží společně pro reverzaci a také pro bezpečné odpojení motoru od sítě.

## 5. Hlavní jističe pro linku

### 5.1. Popis problému

Hlavní jističe resp. vypínače pro dvě části linky na drčení pneumatik, každý pro jeden drtič a přidruženou technologii (dopravníky apod.). Každý drtič bude napájen ze zvláštního přívodu a bude mít zvláštní rozvaděč pro výkonové spínání. Přidružená technologie bude napájena z jednoho z těchto přívodů jako odbočka za hlavním jističem.

### 5.2. Teoretický rozbor

#### a) Nadproudová spoušť jističe

Většina jističů v této kategorii má možnost nastavit proud, je však potřeba vybrat správný modul spouště.

#### b) Zkratová spoušť jističe

Zkratová spoušť je většinou součástí modulu. Musí však být nastavena tak, aby při zkratu spolehlivě vybavila. Pro impedanci sítě před jističem tedy musí tedy platit:

$$Z < \frac{U_n}{I_{jz}}$$

Kde:  $U_n$ - jmenovité napětí sítě

$I_{jz}$ - proud zkratové spouště jističe

#### c) Vypínací schopnost jističe

Vypínací schopnost je limitujícím faktorem, co se týče použití v dané síti. Vypínací schopnost musí být vždy větší než nejvyšší možný zkratový proud. Ten je omezen impedancí transformátoru a impedancí vedení.

Fázová impedance transformátoru se spočte:

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_{2Nf}}{I_{2N}} = u_k \cdot \frac{U_{2N}^2}{S_N}$$

Impedance jedné fáze přívodního kabelu při zanedbání indukčnosti:

$$Z_K = R_K = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

### 5.3. Postup řešení a výsledky

Návrh hlavního jištění dvou hlavních rozvaděčů pro drtící linku vychází z výpočtu celkového instalovaného výkonu na těchto úsecích. Vzhledem k tomu, že je instalovaný výkon obou jističů relativně blízko sebe (170 kVA a 200 kVA), bylo možno navrhnout jeden jistič s rozdílným nastavením nadproudové spouště.

Parametry napájecího transformátoru:

$$S_N = 1 \text{ MVA}$$

$$u_k = 6\%$$

$$U_{2N} = 400 \text{ V}$$

Impedance jedné fáze transformátoru:

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_{2N}^2}{S_N} = 0,06 \cdot \frac{400^2}{1 \cdot 10^6} = 9,6 \text{ m}\Omega$$

Pro připojení jsou použity stávající nevyužité přívody ze zrušené technologie. Přívod prvního rozvaděče je proveden dvěma paralelními kabely CYKY-J 3x120+70 o délce přibližně 170m. Přívod k druhému rozvaděči je proveden kabelem AYKY 185+90 dlouhým 60m, na který navazuje kabel AYKY 240+120 dlouhý rovněž asi 60m.



a) Přívod rozvaděče R1

Dva paralelní kabely 170m CYKY-J 3x120+70

Jmenovitý proud:

$$I_1 = \frac{S_{N1}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{170 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 246 \text{ A}$$

Odpor jedné fáze vedení

$$Z_{1K} = R_{1K} = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{57} \cdot \frac{170}{2 \cdot 120} = 12,4 \text{ m}\Omega$$

Nejhorším případem je dvoufázový zkrat, kdy je zkratový proud:

$$I_{1k} = \frac{U_N}{\sum Z} = \frac{U_N}{2Z_T + 2Z_{1K}} = \frac{400}{2 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 12,4 \cdot 10^{-3}} = 9,1 \text{ kA}$$

b) Přívod rozvaděče R3

Kabely 60m AYKY 185+90 a 60m AYKY 240+120

Jmenovitý proud:

$$I_2 = \frac{S_{N2}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 289 \text{ A}$$

Odpor jedné fáze vedení

$$Z_{2K} = R_{2K} = \rho \cdot \left( \frac{l_1}{S_1} + \frac{l_2}{S_2} \right) = \frac{1}{33} \cdot \left( \frac{60}{185} + \frac{60}{240} \right) = 17,4 \text{ m}\Omega$$

Nejhorším případem je dvoufázový zkrat, kdy je zkratový proud:

$$I_{2k} = \frac{U_N}{\sum Z} = \frac{U_N}{2Z_T + 2Z_{2K}} = \frac{400}{2 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 17,4 \cdot 10^{-3}} = 7,4 \text{ kA}$$

Vzhledem k tomu, že většinou část odběrů v podniku tvoří asynchronní motory, které v případě zkratu generátoricky přispívají ke zkratovému proudu, navrhuji vypínací schopnost minimálně dvakrát vyšší, než je spočtený zkratový proud.

Pro tyto parametry jsme vybrali jistič Modeion BH630 výrobce OEZ Letohrad.

Pro použití jističe zároveň jako hlavního vypínače je potřeba ho doplnit blokem pro ruční ovládání, pákou ručního ovládání k vestavbě do dveří rozvaděče.

Jmenovitý pracovní proud	<b>250A, 400A, 630A</b>
Jmenovité pracovní napětí	<b>max. 690 V a.c.</b>
Jmenovitý kmitočet	<b>50 - 60 Hz</b>
Kategorie užití (režim spínání) / 690 V a.c.	<b>AC-23B</b>
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 230 V	<b>60 kA / 100 kA</b>
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 400 V	<b>36 kA / 65 kA</b>
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 500 V	<b>20 kA / 35 kA</b>
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 690 V	<b>15 kA / 20 kA</b>
Jmenovitá zkratová zapínací schopnost / 415 V a.c.	<b>75 kA / 140 kA</b>
Šířka	<b>140 mm</b>
Výška	<b>275 mm</b>
Hloubka	<b>105 mm</b>

*Tab. 2 Parametry jističe OEZ Modeion BH630 [4]*



*Obr. 6 Jistič/hlavní vypínač s blokem ručního pohonu*

## **6. Výběr stykačů a nadproudových relé pro technologii linky**

### **6.1. Popis problému**

Stykače pro pohony dopravníků a ostatních strojů pro již zmiňovanou linku na drcení pneumatik. Na lince bude instalováno celkem 21 motorů různých výkonů. Poháněné mechanismy jsou většinou šnekové dopravníky, které mají lineární momentovou charakteristiku (kalandrová charakteristika).

### **6.2. Teoretický rozbor**

Spouštění normalizovaných asynchronních motorů je uvedeno v normě ČSN EN 60947 jako typické použití pro spínací třídu AC- 3. Všichni výrobci vyrábějící stykače určené pro spínání asynchronních motorů uvádí v dokumentaci každého typu přímo možný spínaný výkon motoru.

Nadproudové tepelné relé slouží jako jištění proti dlouhodobému přetížení motoru. Pracuje na stejném principu jako tepelná spoušť jističe, ale nemá vypínací funkci. Tepelné relé je vybaveno pouze pomocnými kontakty, které je potřeba zapojit do obvodu příslušného stykače jako blokaci chodu. Konstrukčně jsou většinou vyráběny jako modul, který je možno uchytit přímo pod stykač.

### **6.3. Postup řešení a výsledky**

Jako první jsem sepsal všechny motory s jejich parametry. Pro stykače i tepelná relé jsme si vybrali výrobce EPM Elektropřístroj s.r.o. pro dobrou dostupnost produktů a především díky dobrým zkušenostem s produkty.

Technická data stykačů řady „C“	C9.■ ■ ■ ■ ■	C12.■ ■ ■ ■ ■	C17.■ ■ ■ ■ ■
<b>Hlavní kontakty</b>			
Jmenovité izolační napětí $U_i$ [V]	690	690	690
Impulzní výdržné napětí $U_{imp}$ [kV]	8	8	8
Jmenovitý tepelný proud $I_{th}$ [A]	25	25	25
Jmenovitý pracovní proud $I_e$ v AC-1 pro 400 V [A] v AC-3 (AC-4) pro 400 V [A]	25 9 (4,7)	25 12 (5,6)	25 16 (6,6)
<b>Max. výkon spínaného motoru v AC-3 (AC-4)</b>			
pro 230 V [kW]	2,2	3	4
pro 400 V [kW]	4 (2)	5,5 (2,5)	7,5 (3)
pro 500 V [kW]	5,5 (2,5)	7,5 (3)	9 (3,7)
pro 690 V [kW]	5,5	7,5	9
<b>Nejvyšší četnost spínání pro max. zatížení</b>			
AC-1 [sep/h]	300	300	300
AC-3	1 200	1 200	1 200
AC-4	600	600	600

Tab. 3 Parametry stykačů řady C [5]

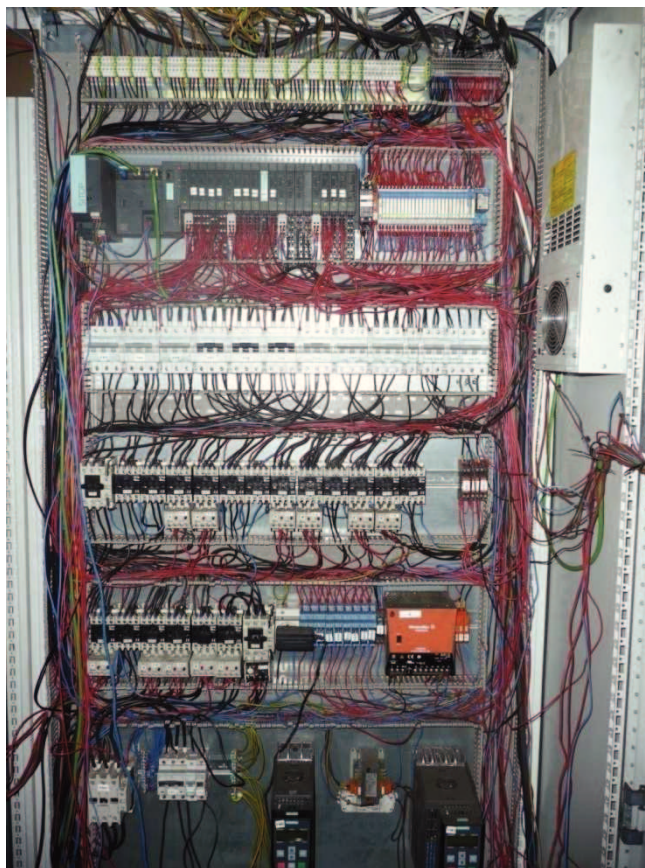
Ozn.	Motor	Typ	Příkon	Proud	Stykač	Tep. relé
			[kW]	[A]		
Z1/T1	M1	Silo ZPD	7,5	26,4	C25.11	
T2	M2	dopravník DPV1400/8	2,2	8,7	C12.11	T17I (6,2-9)A
T3	M4	dopravník DPV 1000/6	2,2	8,7	C12.11	T17I (6,2-9)A
S1	M5	přeběhový magnet MSP1000	2,2	8,7	C12.11	T17I (6,2-9)A
S2	M6	bubnový separátor MSB1000	0,55	2,7	C9.11	T17I (2,1-3)A
VT1	M7	vibrační třídič VT1000/2	2x0,25	2x1,4	2xC9.11	
T4	M8	dopravník DPŠ 200/3,5	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
T5	M9	dopravník DPŠ 200//8	1,5	6,3	C9.11	T17I (6,2-9)A
S3	M10	bubnový separátor MSB400	0,55	2,7	C9.11	T17I (2,1-3)A
S4	M16	bubnový separátor MSB600	0,55	2,7	C9.11	T17I (2,1-3)A
T6	M11	dopravník DPŠ 200/6	0,75	3,2	C9.11	T17I (3-4,3)A
T7	M17	dopravník DPŠ200/7	1,5	6,3	C9.11	T17I (6,2-9)A
VP1	M12	vibrační podavač VP 1000/1,5	2x0,37	2x2	2xC9.11	
T8	M14A	dopravník TPŠ130/3	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
	M14B	dopravník TPŠ130/3	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
	M15	dopravník DPŠ200/4,5	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
VT2	M18	klasifikátor 1000/2	2x0,55	2x2,7	2xC9.11	
T9	M19	dopravník DPŠ150/5,5	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
T10	M20	dopravník DPŠ200/5,5	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A
T11	M21	dopravník DPŠ200/5,5	1,1	4,6	C9.11	T17I (4,3-6,3)A

Tab. 4 Přehled motorů s použitými stykači a tepelnými relé

K jednotlivým motorům jsem přiřadil příslušné stykače podle pokynů vedoucího vždy o jeden řád vyšší, kvůli zvýšení životnosti celého zařízení.

Tam, kde není uvedeno nadproudové relé jde o připojený frekvenční měnič, kde stykač slouží pouze jako prostředek pro bezpečné odpojení od sítě pro nouzové zastavení kategorie 0 podle požadavků ČSN EN 60204 [6].

Všechny stykače jsou ovládány z PLC v soustavě 24V DC. Cívky stykačů ve stejnosměrném provedení jsou konstruovány jako cívky s odbočkou, která je zapnutá pouze v první chvíli po zapnutí stykače jako tahová. Po přitáhnutí kotvy elektromagnetu je odbočka odpojena a je zapojena část cívky sloužící jako přídržná. Při sepnutí stykače je po krátkou dobu příkon cívky podle údajů výrobce až 80W, což odpovídá proudovému odběru téměř 3,5 A. Při sepnutí více stykačů najednou by mohl nastat výpadek napájecího zdroje (jde o spínaný zdroj s elektronickou nadproudovou ochrannou). Pro vyloučení takového stavu jsme programátora řídicího systému obeznámili s problematikou a zadali mu blokaci takovýchto stavů v programu.



*Obr. 7 Rozvaděč technologie během zapojování*

## 7. Rozběh motorů 15 kW

### 7.1. Popis problému

Rozběh a chod motoru vývěvy pro pneumodopravu poháněné motorem 15 kW. Celkem je potřeba zajistit chod tří takovýchto strojů. V každé vývěvě je však jiný typ motoru, proto se při rozběhu chová každá jinak. Vzhledem k tomu, že jde o ventilátor, čemuž odpovídá i ventilátorová charakteristika zátěže motoru, dá se předpokládat, že půjde o těžký rozběh nebo minimálně o rozběh na hranici těžkého.

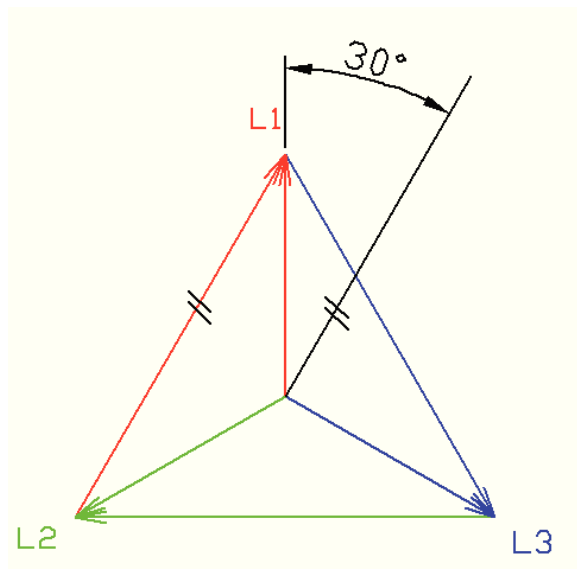


*Obr. 8 Motor jedné z vývěv*

### 7.2. Teoretický rozbor

Pro takovéto výkony je nejjednodušším způsobem rozběhu přepnutí hvězda- trojúhelník. Při zapojení motoru do hvězdy je motor rozeběhnut sníženým napětím. Po přepnutí na trojúhelník je stroj již v chodu, proto je proudový ráz mnohem menší, než při přímém připojení na síť.

Při přepnutí z hvězdy na trojúhelník dochází k náhlému posunu fázorů napětí na cívkách stroje o  $30^\circ$  elektrických:



*Obr. 9 Změna fáze při přepnutí do trojúhelníka*

Pokud dojde k přepnutí rychle, vznikne v důsledku změny fáze proudový ráz. Řešením je použít časové relé určené přímo k použití pro přepnutí hvězda- trojúhelník, které nabízí možnost nastavení časové prodlevy mezi odpadem stykače uzlu hvězdy a sepnutím stykače, připojujícím konce cívek motoru na napájení v zapojení do trojúhelníka.

Vlivem skluzu dojde během časové prodlevy mezi přepnutím k elektrickému posunu fáze o  $30^\circ$  nebo v případě opačného smyslu točení o  $330^\circ$  elektrických.

Eventuální výpočet časové prodlevy by byl možný, ale musel by být brán v potaz nejen skluz motoru ale i snížení otáček motoru v čase, kdy není napájen. Ve výpočtu by figurovaly tedy nejen otáčky motoru v okamžiku přepnutí, ale i průběh charakteristiky pracovního mechanismu a moment setrvačnosti celé soustavy. Pro výpočet použitelný v praxi je to příliš mnoho příliš obtížně zjistitelných nebo nepřesných údajů. Proto je jednodušší variantou zjištění ideální časové prodlevy metoda pokus-omyl, kdy se provede několik rozběhů s různým nastavením při současném měření proudového rázu a vybere se nastavení s nejmenším rázem.



### 7.3. Postup řešení a výsledky

Pro rozběh tímto zapojením se používají standardně tři stykače. První slouží pro připojení k síti, druhý pro propojení do trojúhelníka a třetího spojení konců vinutí do uzlu hvězdy. Třetí stykač při své činnosti spíná tedy pouze hvězdu, která je variantou chodu stroje na snížené napětí při třetinovém výkonu:

$$U_Y = \frac{U_D}{\sqrt{3}}$$

$$P_Y = \frac{U_Y^2}{Z} \cdot \cos\varphi_Y = \frac{U_D^2}{3 \cdot Z} \cos\varphi_D = \frac{1}{3} \cdot P_D$$

Stykač uzlu hvězdy tedy může být dimenzován na spínání třetinového výkonu oproti dimenzování ostatních dvou. V praxi jsem často viděl zapojení, kde byly všechny tři stykače shodné, ačkoliv je to jedno z mála míst, kde se dá při konstrukci zařízení ušetřit bez výrazného snížení životnosti, spolehlivosti nebo dokonce snížení bezpečnosti.

Jak jsem již uvedl, pro přepnutí hvězda- trojúhelník s časovou prodlevou mezi přepnutím se vyrábí speciální jednoúčelová časová relé. Takovéto časové relé vyrábí například firma ELKO EP s.r.o. pod typovým označením CRM- 2T:



*Obr. 10 Časové relé pro zpožděný rozběh hvězda- trojúhelník [7]*

Takovéto speciální relé by bylo možno v případě potřeby nahradit zapojením dvou časových relé v časovém sledu, jednodušší je však řešení s použitím speciálního relé.

Celkem byly zapojeny tři stroje. Dvě zapojení byly provedeny v pevně ukotveném rozvaděči s pevným přívodem CYKY 4x10mm<sup>2</sup>. Pro tato zapojení jsem použil starší použité stykače AEG se jmenovitým spínaným výkonem asynchronního motoru ve třídě AC-3 35 kW, které byly vymontovány z vyřazeného vstřikovacího lisu při šrotování (tam spínaly 30 kW čerpadla hydrauliky). Tyto dva motory se rozbíhají do hvězdy oba shodně přibližně 20s. Po přepnutí na trojúhelník se ani po několika pokusech nepovedlo nastavit prodlevu přepnutí tak, aby byl proudový ráz účinně snížen, proto jsou oba stroje jištěny jističem C40A.

Třetí vývěva měla být provedena jako mobilní a proto bylo potřeba vybrat stroj s nejrychlejším rozběhem a s nejmenším proudovým rázem při spínání. Celé zařízení má být napájeno z instalační zásuvky 32A, které jsou jištěny jističem C32A (charakteristika C je použita z důvodu častého připojování pohonů s asynchronními motory). Vývěva, která byla vybrána, se rozbíhá nejrychleji ze všech odzkoušených. Je to dáno nejspíše paradoxně nekvalitním motorem, který díky většímu odporu klece rotoru rozbíhá pracovní mechanismus ventilátoru s mnohem větším záběrovým momentem než je tomu u ostatních strojů. Po několika pokusech se mi podařilo nastavit i časovou prodlevu přepnutí na hodnotu, která umožňuje úspěšný rozběh bez vybavení jističe. Pro realizaci jsem navrhl použití stykačů EPM C25.11 a pro uzel hvězdy EPM C17.11 s použitím nadproudového tepelného relé T50I (17,2-25)A.



*Obr. 11 Rozvaděč třetí vývěvy během dokončovacích prací*

Při provozu jsem zjistil, že pro některá použití stačí výkonově pouze chod ve hvězdě, proto mám v plánu úpravu zapojení s použitím přepínače pro manuální volbu přepnutí do trojúhelníka nebo ponechání chodu pouze ve hvězdě.

## 8. Návrh ostrovní solární elektrárny

### 8.1. Popis problému

Soukromý projekt majitele firmy- napájení objektu umístěného přibližně 1 km od veřejné sítě s napájením všech elektrických zařízení pomocí FVE s akumulací. Jde spíše především o přípravu podkladů pro projektanta FVE a prostudování funkce FVE, protože s největší pravděpodobností se budu podílet na její realizaci a uvádění do provozu.

### 8.2. Teoretický rozbor

Postup při návrhu požadovaných parametrů pro FVE sestává z následujících etap výpočtu:

#### a) Stanovení denní a noční spotřeby

Při určování základních parametrů FVE se vychází ze stanovení spotřeby elektrické energie pro denní provoz a pro noční provoz. Protože klasický postup výpočtu s instalovaným výkonem a soudobostí by vedl k velké naddimenzovanosti systému, je lepší počítat denní i noční spotřebu pro jednotlivá zařízení s odhadem doby provozu.

$$E = \sum (P_i \cdot t_{on})$$

#### b) Stanovení předpokládaného průběhu výroby v roce

Pro výpočet výroby v jednotlivých obdobích je nejjednodušší použít matematický model na internetových stránkách < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> > [8], který používají pro výpočty i profesionální firmy zabývající se solárními elektrárnami. Tento model využívá pro výpočty mezinárodní databázi PVGIS- CMSAF.

c) Volba minimální energetické nezávislosti

Ostrovní FVE se navrhuje buďto čistě fotovoltaická nebo jako fotovoltaická se zálohováním benzínovým generátorem. Při návrhu čistě fotovoltaického systému je potřeba několikanásobně větší instalovaný výkon FVP pro energetické pokrytí kritických zimních měsíců. Proto je ideální řešení použití zálohované elektrárny, což výrazně sníží investiční náklady na celé zařízení za cenu několika hodin provozu elektrocentrály v zimních měsících. Rozhodujícím faktorem z hlediska návrhu je pro zálohovanou FVE volba minimální požadované energetické nezávislosti. Konkrétní údaj je čistě otázkou volby. Ekonomická výhodnost závisí výrazně na cenách pohonných hmot pro elektrocentrálu, ale obecně lze říci, že pro minimální nezávislost nad 70 % náklady na pořízení neúměrně převyšují náklady na provoz elektrocentrály.

d) Stanovení instalovaného výkonu

Instalovaný výkon vychází z minimální energetické nezávislosti a z požadované spotřeby energie v zimním období, kdy je zpravidla největší potřeba energie a nejnižší výroba:

$$P_i = \frac{k \cdot (E_{den} + E_{noc})}{\eta_{mppt} \cdot \eta_{aku} \cdot E_{výr}}$$

Kde:

$P_i$	[kWp]	- instalovaný výkon FVE
$k$	[-]	- minimální požadovaná energetická nezávislost
$E_{den}$	[kWh]	- denní spotřeba
$E_{noc}$	[kWh]	- noční spotřeba
$E_{výr}$	[kWh/kWp]	- minimum měrné denní výroby
$\eta_{mppt}$	[-]	- účinnost MPPT měniče
$\eta_{aku}$	[-]	- účinnost nabíjecího cyklu akumulátorů

e) Stanovení kapacity akumulace

Kapacita akumulační jednotky je dána součtem kapacity potřebné pro udržení nočního provozu a kapacity potřebné pro překlenutí období s nedostatečnou výrobou. Energetický ekvivalent akumulace pro noční provoz je roven noční spotřebě.

Stanovení ekvivalentu pro překlenutí dnů s nízkou výrobou je poněkud složitější. V případě, že je fotovoltaický systém zálohován z generátoru je pouze otázkou volby, kolik maximálně dnů je potřeba překlenout bez použití generátoru.

Kapacita je dána:

$$C = \frac{E_{noc} + n \cdot (E_{den} + E_{noc})}{DOD \cdot \eta_{aku} \cdot U_N}$$

Kde:

C	[Ah]	- kapacita baterie
DOD	[-]	- depth of discharge (hloubka vybití baterie)
E <sub>noc</sub>	[Wh]	- noční spotřeba
E <sub>den</sub>	[Wh]	- denní spotřeba
n	[-]	- počet dnů bez výroby, které je nutno překlenout
η <sub>aku</sub>	[-]	- účinnost nabíjecího cyklu akumulátorů
U <sub>n</sub>	[V]	- jmenovité napětí baterie

### 8.3. Postup řešení a výsledky

#### a) Stanovení denní a noční spotřeby

Denní spotřeba byla určena přibližně na  $E_{\text{den}}=12$  kWh a spotřeba energie za noc by měla činit asi  $E_{\text{noc}}=10$  kWh.

Hodnoty byly stanoveny odhadem doby použití jednotlivých uvažovaných spotřebičů.

#### b) Stanovení předpokládaného průběhu výroby v roce

Pro výpočet průměrné denní výroby jsem použil online výpočet na internetové adrese <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> [8]. Použil jsem nastavení odpovídající orientaci fotovoltaických panelů, tedy náklon  $12^\circ$ , orientaci  $-22^\circ$  od jihu východním směrem a umístění Třinec.

Období	Denní průměr
	$E_{\text{výr}}$
	[kWh/den/kWp]
Leden	0,82
Únor	1,4
Březen	2,21
Duben	2,98
Květen	3,67
Červen	3,64
Červenec	3,87
Srpen	3,31
Září	2,43
Říjen	1,8
Listopad	0,9
Prosinec	0,66

Tab. 5 Průměrná denní výroba FVE [8]

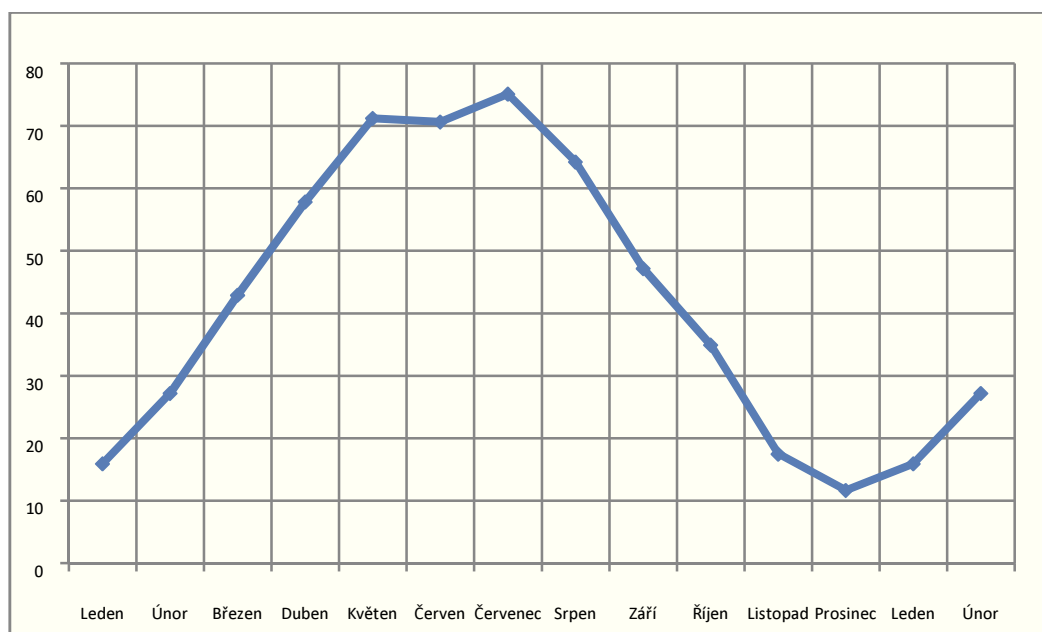
c) Volba minimální energetické nezávislosti

Poté, co jsem tuto problematiku vysvětlil majiteli firmy resp. budoucímu provozovateli, shodli jsme se na nejnižší únosné nezávislosti  $k = 50\%$ .

d) Stanovení instalovaného výkonu

Nejnižší průměrná denní výroba se dá předpokládat v prosinci a to  $E_{v\dot{y}r} = 0,66 \text{ kWh/kWp}$ . Účinnost MPPT měniče se pohybuje kolem 95 % a účinnost nabíjecího cyklu akumulátorů kolem 90 %.

$$P_i = \frac{k \cdot (E_{den} + E_{noc})}{\eta_{mppt} \cdot \eta_{aku} \cdot E_{v\dot{y}r}} = \frac{0,5 \cdot (12 + 10)}{0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,66} = 19,5 \text{ kWp}$$



Obr. 12 Průměrná denní výroba FVE 19,4 kWp

e) Stanovení kapacity akumulace

Vzhledem k relativně nízké pravděpodobnosti výskytu více než 3 dnů se sluneční aktivitou nedovolující žádnou nebo jen velmi malou výrobu energie, dle mého názoru není potřeba akumulační jednotku dimenzovat na delší dobu než právě 3 dny bez výroby.

Potřebná kapacita akumulátorové baterie:

$$C = \frac{E_{noc} + n \cdot (E_{den} + E_{noc})}{DOD \cdot \eta_{aku} \cdot U_N} = \frac{10 \cdot 10^3 + 3 \cdot (12 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3)}{0,5 \cdot 0,9 \cdot 48} = 3,5 \text{ kAh}$$

Fotovoltaické panely budou připojeny na MPPT měniče. Předběžně jsem navrhl použít dva MPP solar PCM- 80CX, které jsou v případě dostatečného slunečního svitu schopny pokrýt i celý instalovaný výkon všech zařízení v objektu.

Akumulátory budou použity AGM nebo gelové (zatím není určeno).

Je zatím nevyřešenou otázkou, jestli bude celý systém na síti 230VAC, čehož jsem osobně zastáncem, nebo na síti 24VDC, což byla původní verze uvažovaná v projektu stavby pro stavební povolení.

Pro střídavou verzi sítě jsem navrhnul předběžně ostrovní střídač s funkcí nabíječky pro nabíjení akumulátorů z benzínového generátoru v případě potřeby. Předběžně vybraný typ MustUPS IR6048E je 6 kW průmyslová on- line UPS pro trvalý provoz s možností přetížení až na 12 kW po dobu 10s, což umožňuje například rozběh motoru čerpadla na vodu, motoru lednice nebo zapnutí spínaného zdroje s kondenzátory ve vstupním obvodu (např. PC).

Další záležitosti ohledně tohoto systému jsou zatím v řešení, a vzhledem k tomu, že jde o časově poměrně vzdálenou realizaci, budu tento návrh ještě upravovat, než jej předám k projekci instalace.



## 9. Příprava prodeje nadbytečných motorů

### 9.1. Popis problému

Rozhodnutí vedení podniku o prodeji nevyužitých motorů ze skladu (asi 20 ks). Tyto motory byly vyřazeny v průběhu mnoha uplynulých let z různých strojů buďto z důvodu jiných požadavků na pohon, poruchy nebo z důvodu rušení technologie. V rámci nabídky těchto motorů je potřeba zjistit stav všech motorů z hlediska funkčnosti.

### 9.2. Postup řešení a výsledky

Vzhledem k tomu, že většinou jde o motory řádově od 30 kW do 75 kW, bylo by obtížné u každého ověřovat chod rozběhem. Ověřit chod motoru by ani nebylo možné, protože není v místě k dispozici přívod odpovídající zatížení při připojení k síti.

Pro určení funkčnosti jsem měřil ohmický odpor vinutí jednotlivých fází, kapacitu vinutí vůči kostře a kapacitu vinutí vůči sobě (jejich stejnou hodnotu). Dále jsem ověřoval volný pohyb hřídele a zvuk ložisek při otáčení.

Takovýto postup nemůže odhalit některé menší vady ložisek, závitový zkrat ve vinutí nebo závadu na kleci rotoru. Pravděpodobnost poruchy klece rotoru je však velmi malá; osobně jsem se s ní nikdy nesetkal a i vedoucí mě ujistil, že takovéto poruchy se vyskytují velmi zřídka. Pravděpodobnost vzniku závitového zkratu je rovněž velmi malá, protože většinou při vzniku závitového zkratu dojde za krátkou dobu k úplnému přerušení statorového vinutí.



*Obr. 13 Motor AEG 45 kW*

V rámci prohlídky motorů jsem narazil na dva dnes už poněkud neobvyklé stejnosměrné motory, které kdysi sloužily pro regulovaný pohon CNC soustruhů. Bohužel oba se závadou ve statorovém budícím vinutí. Zajímavé je na nich především konstrukční řešení cizího chlazení rotoru, provedené odvodem tepla hřídelí do hliníkového žebrování v zadní části stroje až za kartáči.



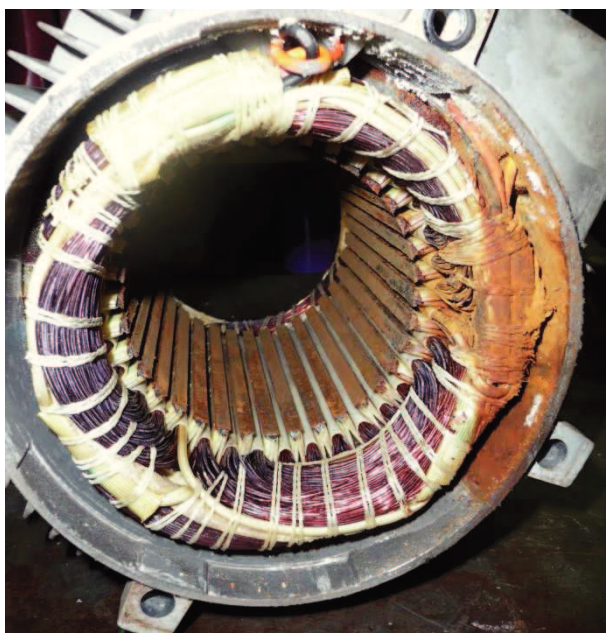
*Obr. 14 Cizí chlazení DC motoru*

Poměrně raritní záležitostí je objevený 30 kVA transformátor 380/190V Yd1 sloužící k napájení již zrušeného CNC soustruhu konstruovaného na napětí 190V (110V fázové) z české distribuční sítě.

## 10. Oprava poškozených asynchronních motorů

### 10.1. Popis problému

Dva asynchronní motory nalezené při vyklížení skladu, které byly poškozeny kvůli skladování v nevyhovujících podmínkách. První z motorů má poškozené ložisko a zvlhlé vinutí. Druhý z motorů byl uvnitř z části zaplaven dešťovou vodou.



*Obr. 15 Poškození motoru zaplaveného vodou*

### 10.2. Teoretický rozbor

Vadné ložisko způsobuje zvýšenou hlučnost stroje a způsobuje zahřívání, vlivem čehož se poškozené ložisko vlivem teplotní roztažnosti deformuje a tím dochází k ještě většímu tření a opotřebení.

Voda ve vinutí patří mezi nejsilnější degradační činitele kvůli poškození izolace a poškození magnetického obvodu. Voda ve vinutí stroje však v první řadě představuje výrazně vyšší bezpečnostní riziko úrazu elektrickým proudem při možném průrazu na kostru. Po vylití vody je dobré vinutí vypláchnout technickým lihem, který standardně nepůsobí jako rozpouštědlo na žádné z běžně používaných laků ani impregnací používaných ve vinutí elektrických strojů. Vinutí je potřeba vysušit, nesmí však být překročena maximální dovolená teplota pro danou třídu izolace.

Třída izolace	$\Delta\Theta_{\text{dov}}$ [K]	$\Theta_{\text{dov}}$ [°C]
A	60	100
E	75	115
B	80	120
F	100	140
H	125	165

Tab. 6 Teplotní třídy izolace podle ČSN EN 60085 [9]

Pro vinutí je však lepší delší doba sušení spolu s nižší teplotou, proto je nejlepším řešením dodržet následující tabulku:

Teplotní třída	Optimální teplota sušení (°C)		Maximální přípustná teplota sušení (°C)
	$p = p_n$	$p < p_n$	
Y	100 - 105	80 - 90	110
A	110 - 120	80 - 100	130
E	120 - 130	90 - 110	140
B	130 - 140		150
F	150 - 160		180
H	180 - 200		220

Tab. 7 Doporučené teploty sušení vinutí elektrických strojů [10]

### 10.3. Řešení a výsledky

Vadné ložisko bylo vyměněno za nové a ihned po kompletaci a spuštění stroje byla zřejmá změna ve zvuku i v oteplení zadního čela (strana s vadným ložiskem).

Oba stroje byly na cca 4 hodiny uloženy do žíhací pece nastavené na teplotu 150 °C. Po vysušení byly jádra magnetického obvodu i rotory očištěny a naimpregnovány proti korozi konzervačním olejem. Svorkovnice jednoho z motorů musela být pro pokročilou korozi vyměněna a motory byly zkompletovány. Jsou nadále plně funkční

## 11. Ostatní

Mimo výše uvedené úkoly jsem se průběžně v rámci práce naučil základně ovládat CAD software, ve kterém jsem kreslil několik výkresů. Rovněž jsem si musel nastudovat podstatnou část principu funkce fotovoltaických ostrovních systémů pro jeho návrh.

V případě potřeby jsem rovněž prováděl drobné opravy na stávajících instalovaných strojích a to především poruchy v ovládacích obvodech nebo méně silových obvodů, kde šlo většinou o selhání přístrojů (stykače, polovodičová relé).

V rámci praxe jsem také absolvoval školení a zkoušku z §6 vyhlášky 50/1978 sb.- pracovník pro samostatnou činnost.

Jelikož jsem byl dobře seznámen s celým pohonem drtiče Tiger, byl jsem přítomen jednání se zástupcem firmy SEW ohledně poruchy převodovky. Následně jsme jednali s technikem firmy Siemens pohony, při poptávce náhrady za stávající převodovku.

## **12. Přehled časové náročnosti jednotlivých úkolů**

Návrh softstartéru	5 pracovních dnů
Návrh stykačů pro motory 160 kW	2 pracovní dny
Návrh hlavních jističů pro linku	1 pracovní den
Výběr stykačů a tepelných relé pro motory technologie	2 pracovní dny
Realizace zapojení motorů a technologie linky	10 pracovních dnů
Uvádění pohonů 160 kW do provozu	3 pracovní dny
Rozběh motorů 15 kW - návrh technického řešení a schémata	3 pracovní dny
Realizace zapojení dvou vývěv	2 pracovní dny
Nákup materiálu a realizace zapojení třetí vývěvy	3 pracovní dny
Nastudování problematiky a návrh solární elektrárny	12 pracovních dnů
Příprava nabídky prodeje nepotřebných motorů	3 pracovní dny
Oprava dvou poškozených motorů	1 pracovní den
Ostatní (opravy, jednání, školení vyhl. 50)	6 pracovních dnů

### **13. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe**

V průběhu praxe jsem použil především poznatky z předmětů elektrické stroje, elektrické přístroje, elektrárny, elektrické pohony a fyzika. Většina znalostí, které jsem měl možnost použít, jsem získal na Vysoké škole báňské. Některé znalosti jsem nabyl již na střední škole.

Především jsem uplatnil znalosti asynchronních motorů z předmětů elektrické stroje a elektrické pohony. Pro návrh spínacích a jistících přístrojů pro tyto motory jsem pak uplatnil především znalosti předmětu elektrické přístroje.

#### **14. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe**

Vzhledem k tomu, že v průběhu své praxe jsem pracoval na průmyslových zařízeních, která musí splňovat celou řadu norem, uvítal bych lepší připravenost v oblasti legislativy a normalizace.

Rovněž mi scházely znalosti v oblasti programování PLC a to především co se týče komunikace a programování dotykových ovládacích panelů. V průběhu praxe jsem tuto dovednost sice nepotřeboval, nicméně vzhledem k tomu, že většinu programů řídicích systémů v podniku si programoval vedoucí sám, bylo by zvládnutí této problematiky výhodou. Tato dovednost však není obecně požadována u pracovníků v oboru elektroenergetika.



## **15. Shrnutí dosažených výsledků v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení**

Vzhledem k tomu, že v této firmě jsem prováděl brigádní práce už více než rok před nástupem na bakalářskou praxi, nebylo pro mě toto prostředí nové a nemusel jsem se na pracovišti zaučovat.

Dosažené výsledky jsem vždy konzultoval se svým vedoucím ve firmě, který vždy podal patřičné připomínky. Všechny konečné návrhy byly kontrolovány a o jejich funkčnosti jsem se mohl přesvědčit.

Připojení motorů 160 kW se stykači a softstartérem bylo realizováno a při navýšení nastaveného rozběhového výkonu na 300%  $P_N$  oproti původně navrhovanému 100- 150%  $P_N$  není rozběh pohonu žádný problém. Softwarově (v programu PLC) bylo zajištěno, aby se vždy rozbíhal vždy jen jeden z motorů, čímž se vyloučilo nadměrné zatížení sítě.

Technologie drtící linky byla realizována a po menších problémech, které se netýkaly elektroinstalace, produkuje velmi kvalitní gumový granulát.

Zapojení motorů vývěv je funkční s výhradami ke konstrukci samotných vývěv; další postup teprve řeším.

Ostrovni fotovoltaický systém zatím nebyl dále rozpracován; zůstal ve stádiu návrhu.

Nadbytečné motory byly prodány firmě zabývající se opravami a repasováním starších motorů, která je schopna zajistit si pro jednotlivé kusy odbyt.

Opravené asynchronní motory jsou funkční avšak zůstávají ponechány ve skladu jako rezerva pro případ poruchy.

## **16. Závěr**

Celkově jsem velice spokojen s touto praxí, protože mi umožňuje aplikovat velké množství teoretických poznatků do praxe a rovněž umožňuje vidět celý proces od návrhu, přes montáž až po spuštění elektro zařízení a v některých případech až po první poruchy.

Při praxi jsem postupně poznal všechny hlavní součásti elektrických zařízení, od přípojek, jištění, spínání a ochran až po obvody ovládání, měření a regulace a PLC.

Tato bakalářská praxe byla pro mě bezesporu nenahraditelnou profesní zkušeností, ze které si do budoucna odnáším velké množství nových poznatků a dovedností.

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Drtič Tiger .....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Obr. 2 Průběh proudu při přímém připojení a při použití softstartéru [1] .....</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Obr. 3 Zapojení pro rozběh uvnitř trojúhelníku [1].....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Obr. 4 Namontovaný softstartér Siemens .....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Obr. 5 Stykač GE typ CK85BA311M [3] .....</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Obr. 6 Jistič/hlavní vypínač s blokem ručního pohonu.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Obr. 7 Rozvaděč technologie během zapojování .....</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Obr. 8 Motor jedné z vývěv .....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Obr. 9 Změna fáze při přepnutí do trojúhelníka .....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Obr. 10 Časové relé pro zpožděný rozběh hvězda- trojúhelník [7].....</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Obr. 11 Rozvaděč třetí vývěvy během dokončovacích prací.....</i>	<i>- 33 -</i>
<i>Obr. 12 Průměrná denní výroba FVE 19,4 kWp.....</i>	<i>- 38 -</i>

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Kategorie spínání zátěží [2] .....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Tab. 2 Parametry jističe OEZ Modeion BH630 [4] .....</i>	<i>- 25 -</i>
<i>Tab. 3 Parametry stykačů řady C [5] .....</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Tab. 4 Přehled motorů s použitými stykači a tepelnými relé .....</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Tab. 5 Průměrná denní výroba FVE [8] .....</i>	<i>- 37 -</i>

## Rejstřík

24V DC, - 23 -

AYKY 185+90, - 19 -

AYKY 240+120, - 19 -

budícím vinutí, - 35 -

CAD, - 38 -

CYKY-J 3x120+70, - 18 -

čistě FVE, - 29 -

ČSN EN 60947, - 15 -

ČSN EN 954-1, - 23 -

denní spotřeba, - 30 -

doba sušení, - 37 -

drtič Panther, - 8 -

drtič Tiger, - 8 -

drtiče, - 8 -

dvoufázový zkrat, - 19 -

elektrocentrála, - 30 -

energetická nezávislost, - 29 -

energetický ekvivalent, - 31 -

FVE, - 29 -

General Electric, - 16 -

hlučnost stroje, - 36 -

chod s frekvenčním měničem, - 12 -

impedance jedné fáze přívodního kabelu, - 17 -

impedance jedné fáze transformátoru, - 18 -

jednouúčelové časové relé, - 27 -

kalandrová charakteristika, - 21 -

kapacita akumulace, - 30 -

kategorie spínání, - 15 -

klec rotoru, - 34 -

metoda pokus- omyl, - 26 -

Modeion BH630, - 19 -

moment setrvačnosti, - 26 -

motory, - 8 -

MPP solar, - 33 -

MPPT měnič, - 30 -

MustUPS, - 34 -

nadproudová spoušť, - 17 -

noční spotřeba, - 30 -

nouzové zastavení, - 14 -, - 23 -

odpor klece rotoru, - 28 -

OEZ Letohrad, - 19 -

on- line UPS, - 34 -

ostrovní solární elektrárna, - 29 -

PLC, - 23 -

pneumodoprava, - 24 -

pojistky, - 14 -

pracovník pro samostatnou činnost, - 38 -

proudový ráz při spínání, - 28 -

přerušení statorového vinutí, - 34 -

rozběh pomocí softstartéru, - 10 -

rozběh s přepnutím hvězda- trojúhelník, - 10 -

sirius 3RW4443, - 13 -

skluz, - 26 -

sluneční aktivita, - 33 -

stejnoseměrné motory, - 35 -

stykač AEG, - 27 -

tepelné relé, - 22 -

termistory, - 13 -

těžký rozběh, - 9 -

trafostanice, - 13 -

transformátor, - 35 -

třída izolace, - 37 -

účinnost akumulátoru, - 30 -

uvnitř trojúhelníku, - 11 -

ventilátor, - 24 -

ventilátorová charakteristika, - 24 -

vyhláška 50/1978 sb., - 38 -

vypínací schopnost, - 17 -

vývěva, - 24 -

zálohování FVE, - 30 -

závitový zkrat, - 34 -

zkratová spoušť, - 17 -

změna fáze, - 26 -

## Použitá literatura

- [1] Siemens, *Uživatelský manuál Sirius 3RW4443*. Dostupné z: <[www.siemens.com](http://www.siemens.com)>
- [2] ČSN EN 60947: *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí*
- [3] General Electric, *Control and Automation for industries applications (contactors and overload relays)*. Dostupné z: <[http://www.geindustrial.com/india/brochures/Contactors\\_andOLRs.pdf](http://www.geindustrial.com/india/brochures/Contactors_andOLRs.pdf)>
- [4] OEZ, *Katalog produktů*. Dostupné z: <<http://www.oez.cz/produkty/bh630-kompaktni-jistice>>
- [5] EPM Elektropřístroj s.r.o., *Katalog produktů*. Dostupné z: <<http://www.epm.cz/>>
- [6] ČSN EN 60204- 1: *Bezpečnost strojních zařízení- Elektrická zařízení strojů- Část 1: Všeobecné požadavky*
- [7] ELKO EP s.r.o., *Online katalog produktů*. Dostupné z: <<http://www.elkoep.cz>>
- [8] Photovoltaic geographical informatic sytem (PVGISO), *Online výpočet výroby FVE*. Dostupné z: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- [9] ČSN EN 60085: *Elektrická izolace- Tepelná kvalifikace*
- [10] Server elektrika.cz, *Metody obnovy elektrických zařízení*. Dostupné z: <<http://elektrika.cz/data/clanky/povodne2030526>>